



Programme Canne à Sucre

Rapport de mission en pathologie de la
canne à sucre au Brésil du 11 au 20
mars 2001

Juillet 2001
Laurent Costet
Philippe Rott
Phytopathologistes
Cirad-ca



Programme Canne à Sucre

**Rapport de mission en pathologie de la
canne à sucre au Brésil du 11 au 20
mars 2001**

**Juillet 2001
Laurent Costet
Philippe Rott
Phytopathologistes
Cirad-ca**

Sommaire	Pages
Objectifs de la mission	2
Calendrier de la mission	2
Remerciements	4
I/ Quelques informations sur la culture de la canne à sucre au Brésil	5
II/ Les programmes d'amélioration de la canne à sucre au Brésil	5
A/ COPERSUCAR	5
A1/ Le programme d'amélioration variétale classique	6
A2/ Le programme d'amélioration variétale basé sur les biotechnologies	7
1/ Transformation de variétés de canne à sucre commerciales avec des transgènes d'intérêts	8
i/ Fixation de l'azote	
ii/ Résistance aux insectes	
iii/ Résistance aux herbicides	
iv/ Résistance aux agents pathogènes	
2/ Réalisation de cartes génétiques saturées en marqueurs moléculaires pour la recherche de QTLs	10
B/ Le réseau RISEDA	10
III/ Les programmes de séquençage de génomes au Brésil	13
A/ Projet ESTs de la canne à sucre	14
B/ Les projets de séquençage de génomes de bactéries phytopathogènes	15
IV/ Projet de collaboration entre le CIRAD et les structures brésiliennes FAPESP et UFSCar	16
Planches photographiques	18
ANNEXE 1 : Sigles et adresses internet utiles	21
ANNEXE 2 : Liste des "Data mining projects" de la SUCEST	23

Objectifs de la mission

Les objectifs de cette mission étaient les suivants :

- Prise de contact avec la fondation FAPESP (Fondation pour la Recherche de l'Etat de São Paulo) et le réseau ONSA ("Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis" : Séquençage des ESTs de la canne à sucre et du génome d'agents phytopathogènes).
- Mise en place d'un projet de collaboration avec l'Université Fédérale de São Carlos (UFSCar).

Remarque : une liste des sigles utilisés dans ce rapport figure en annexe 1.

Calendrier de la mission

- 9-10 mars 2001 Voyage Saint Denis - Paris (L. COSTET).
- 11 mars 2001 Voyage Montpellier - Paris (P. ROTT) et voyage Paris - São Paulo - Araras (L. COSTET et P. ROTT).
- 12 mars 2001 **Université fédérale de São Carlos (UFSCar)** à Araras.
- Présentation par le Pr. Sizuo MATSUOKA (sélectionneur) du programme de sélection variétale de l'UFSCar dont il est le responsable.
- Visite du laboratoire de Phytopathologie Moléculaire et d'Ingénierie Génétique dirigé par le Dr. Eder GIGLIOTI (Phytopathologiste et responsable d'un laboratoire de séquençage du projet ESTs de la canne à sucre, et d'un groupe de "data mining").
- Discussion avec Eder GIGLIOTI : présentation de la FAPESP, de son fonctionnement et de ses projets dans le domaine végétal.
- 13 mars 2001 Trajet Araras - Jaboticabal avec Eder GIGLIOTI.
Observation sur le trajet de symptômes de la fausse rayure rouge "false red stripe" de la canne à sucre.
Universidade Estadual Paulista (Unesp) : Université de l'Etat de São Paulo. Accueil par le Professeur Jesus AP. FERRO (Professeur de biochimie et biologie, coordinateur du projet "séquençage du génome de bactéries du genre *Xanthomonas*" et responsable d'un laboratoire de séquençage du projet ESTs de la canne à sucre).
- Visite du laboratoire du Pr. Jesus AP. FERRO (Séquenceurs, Robot Q Bot Genetix permettant notamment de réaliser des filtres haute densité portant jusqu'à 27000 clones à raison de 2 répétitions par clone).
- Séminaire de Philippe ROTT sur l'échaudure des feuilles de la canne à sucre causée par *Xanthomonas albilineans* en présence de Jesus AP. FERRO, Maria Ines FERRO (professeur de génétique), Sonia Marli ZINGARETTI DI MAURO (post doctorante en génétique et responsable du robot Q Bot Genetix) et plusieurs étudiants.
- Discussion avec Jesus AP. FERRO sur les possibilités de séquençage du génome de *Xanthomonas albilineans* et des moyens à mettre en œuvre dans le cadre d'une collaboration avec le CIRAD.
Retour Araras.

14 mars 2001

Trajet Araras - Piracicaba avec Eder GIGLIOTI.

COPERSUCAR Technology Center. Accueil par Dr. William Lee BURNQUIST, responsable du secteur végétal.

- Discussion avec William Lee BURNQUIST : présentation du projet ESTs de la canne à sucre à la FAPESP, des priorités actuelles de COPERSUCAR et des possibilités de collaboration CIRAD/FAPESP.

- Visite de la station de recherche sur la canne à sucre.

- Visite des essais en phytopathologie réalisés au cours du schéma de sélection, avec le Dr. Alvaro SANGUINO (phytopathologiste).

- Séminaire de Philippe ROTT sur l'échaudure des feuilles de la canne à sucre (*Xanthomonas albilineans*) en présence de William Lee BURNQUIST, Alvaro SANGUINO, Eugenio Cesar ULIAN (responsable de la section "biotechnologies") et de plusieurs chercheurs/techniciens de COPERSUCAR.

- Présentation par le Dr. Eugenio Cesar ULIAN du programme de biotechnologie : 1/ production de plantes transgéniques.

2/ Réalisation de cartes génétiques pour la détection de QTLs.

- Visite sur le terrain de parcelles de plantes transgéniques, avec Eugenio Cesar ULIAN.

Retour Araras.

15 mars 2001

Trajet Araras - Piracicaba avec Eder GIGLIOTI.

Université de São Paulo (USP), Ecole Supérieure d'Agriculture "Luiz de Queiroz". Accueil par le Professeur Luis Eduardo ARANHA CAMARGO, professeur de phytopathologie et coordinateur du projet sur le séquençage de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (ex. *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*, agent responsable du rabougrissement des repousses de la canne à sucre). Il dirige également un laboratoire de séquençage et un groupe de "data mining" impliqués dans le projet des ESTs de la canne à sucre.

- Rencontre avec le professeur Tokeshi, phytopathologiste.

- Visite du laboratoire et discussion avec Dr. Dirce CARRARO (responsable de la production de banques d'ADN et notamment du clonage du génome de *Leifsonia xyli* sp. *xyli* dans *Escherichia coli*).

- Discussion sur le séquençage du génome chloroplastique de la canne à sucre avec Tercilio CALSA junior (Etudiant en "Master").

- Présentation des travaux sur la variabilité d'un gène chez la canne à sucre qui est homologue au gène de résistance *Xa1* du riz, par Marianna SENNA (Thésarde), et Luis Eduardo ARANHA CAMARGO.

Retour Araras.

- Discussion avec Eder GIGLIOTI : présentation de ses projets de recherche et du LAFIMEG (laboratoire de phytopathologie moléculaire et d'ingénierie génétique de l'UFSCar).

16 mars 2001

Trajet Araras - Campinas avec Eder GIGLIOTI.

Université de Campinas (UNICAMP). Accueil par le Professeur Paolo ARRUDA, professeur de physiologie végétale et coordinateur du projet ESTs de la canne à sucre.

- Discussion avec Paolo ARRUDA sur les possibilités de séquençage du génome de *Xanthomonas albilineans*, les stratégies techniques

envisageables et les moyens à mettre en œuvre dans le cadre d'une collaboration avec le CIRAD

- Discussion avec Laurent GRIVET sur ses activités "Data Mining" dans le cadre du projet ESTs de la canne à sucre.

Retour Araras.

- Visite des essais en serre sur la fausse rayure rouge, et des "seedlings" à leur premier stade de sélection.

18 mars 2001

Trade Garden Hotel.

Synthèse des travaux effectués en collaboration avec l'UFSCar (Eder GIGLIOTI) sur la fausse rayure rouge (false red stripe) : caractérisation de la symptomatologie et de l'agent pathogène ; définition du plan d'un article permettant de valoriser ces résultats.

19-20 mars 2001

Synthèse de la mission avec Eder GIGLIOTI et définition d'un projet de collaboration entre l'UFSCar, d'autres universités brésiliennes et le Cirad (Montpellier et Réunion), pour une présentation à la FAPESP.

Voyage Araras - São Paulo avec le professeur Yodiro MASUDA, professeur à l'UFSCar et coordinateur adjoint du programme d'amélioration variétale de la canne à sucre.

Voyage São Paulo - Paris (L. COSTET et P. ROTT).

Voyage Paris - Montpellier (P. ROTT).

Remerciements

Nous tenons à remercier Sizuo MATSUOKA et Eder GIGLIOTI pour l'organisation de cette mission et pour l'accueil chaleureux qu'ils nous ont réservé sur le campus de l'UFSCar à Araras.

Eder GIGLIOTI nous a guidé tout au long de cette mission dans l'état de São Paulo. Il nous a permis de rencontrer les différents intervenants du projet ONSA. Nous remercions bien vivement toutes les personnes rencontrées pour leur accueil et leur disponibilité.

I/ Quelques informations sur la culture de la canne à sucre au Brésil

Il y a environ 300 sucreries au Brésil dont 120 dans l'état de São Paulo. La production de sucre au Brésil a plus que doublé en 15 ans. Aujourd'hui, la canne à sucre occupe quelques 4,5 millions d'hectares au Brésil dont 60% dans l'état de São Paulo (figure 1). La récolte de 1999 a été d'environ 300 millions de tonnes de canne (25 % de la production mondiale) et elle a permis de produire 20 millions de tonnes de sucre (production mondiale = 87 millions de tonnes) et 12 milliards de litres d'alcool.



Figure 1 : Localisation de l'état de São Paulo au Brésil.

La quasi-totalité de cet alcool est utilisé comme carburant pour automobile (figure 2). Cependant, le volume d'alcool produit diminue depuis 4 ans. En effet, depuis 1997 le gouvernement brésilien a pour politique l'arrêt quasi-total de la production de véhicules fonctionnant à l'alcool pur. Afin de compenser la diminution de consommation d'alcool lié à cette mesure, 22% d'alcool sont ajoutés dans les carburants dérivés du pétrole. Cette dernière mesure ne compense cependant pas totalement la première. Dans un contexte de surproduction mondiale, la progression ininterrompue des exportations sucrières brésiliennes, stimulée par la diminution de la production d'éthanol et par la forte dévaluation du real, a entraîné une chute des cours mondiaux du sucre depuis quatre ans.



Figure 2 : Plus de la moitié de la production de canne à sucre brésilienne est transformée en alcool. La quasi-totalité de cet alcool est utilisé comme carburant automobile.

II/ Les programmes d'amélioration de la canne à sucre au Brésil

Il existe deux programmes d'amélioration variétale de la canne à sucre au Brésil, un dirigé par un groupe privé (COPERSUCAR) et l'autre développé par les universités fédérales au sein d'un réseau (RISEDA).

A/ COPERSUCAR

COPERSUCAR est une coopérative de producteurs de canne à sucre, de sucre et d'alcool de l'état de São Paulo. Elle a été créée en 1959 et regroupe actuellement 88 associations. Son objectif est double : 1/ commercialiser le sucre, l'alcool et les sous-produits issus de la canne ; 2/ apporter une assistance à tous les niveaux de la production.

La coopérative compte 34 unités agro-industrielles. Les usines et distilleries de l'association produisent et traitent 60 millions de tonnes de canne à sucre pour une production de l'ordre de 3 millions de tonnes de sucre et 3 milliards de litres d'alcool, ce qui représente environ 25% du marché brésilien.



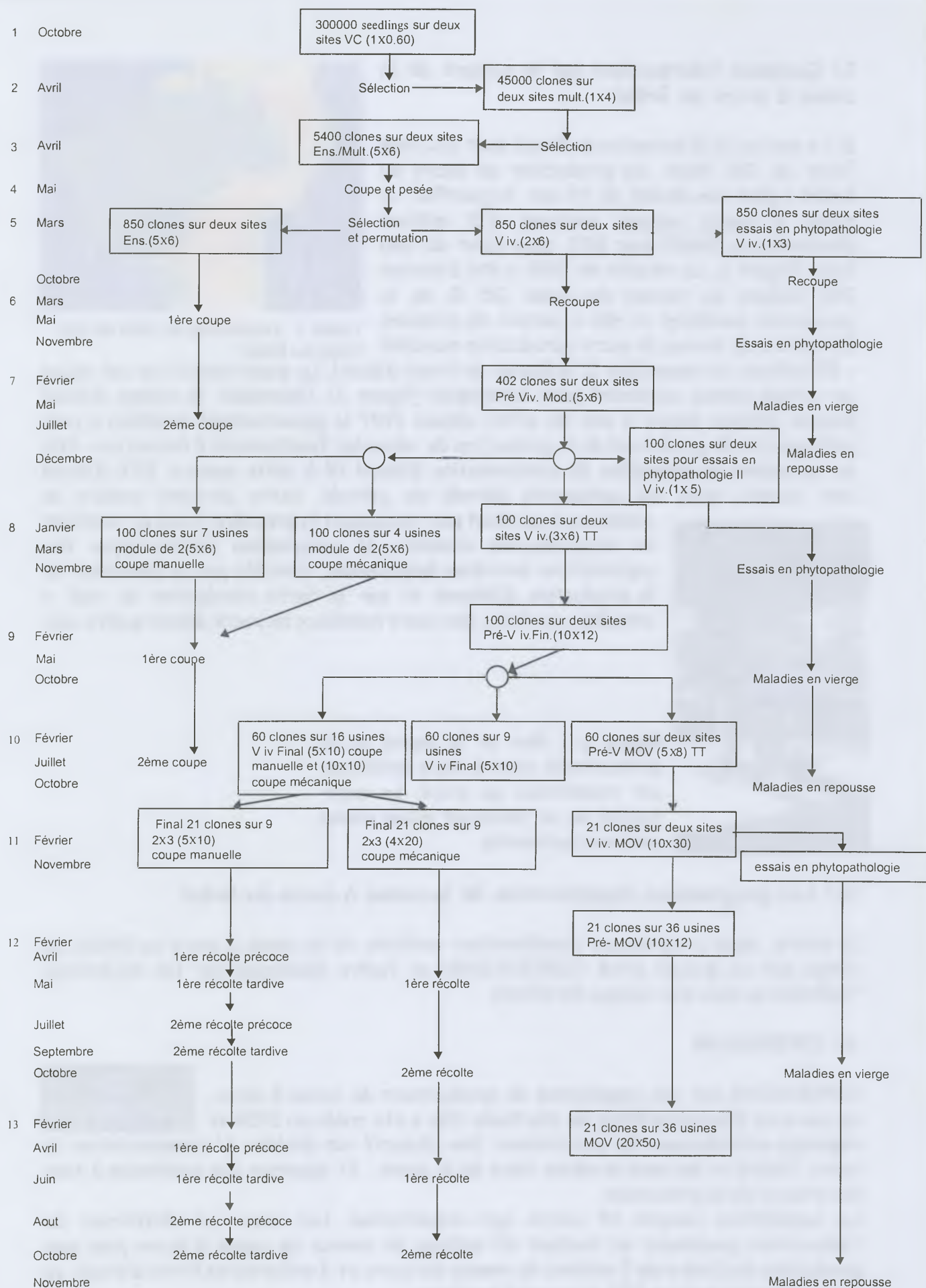


Figure 4 : Schéma de sélection de la canne à sucre au CTC

Le centre de technologie de COPERSUCAR (CTC) a été créé à la fin des années 60 autour d'un programme d'amélioration variétale de la canne à sucre dans l'objectif d'apporter une aide à la filière sucrière. Depuis 1979, ce centre de recherche et de développement (figure 3) est localisé à Piracicaba sur un domaine de 1400 hectares réservés aux expérimentations. Aujourd'hui, parmi les principaux programmes du CTC, l'amélioration variétale figure toujours comme objectif prioritaire mais d'autres programmes de recherche et de transfert de technologie dans les domaines agricole et industriel ont également été développés. Ce centre fonctionne avec un budget d'environ 15 millions de dollars US et compte environ 600 personnes.



Figure 3 : Centre de technologie de COPERSUCAR

Le secteur végétal du CTC est dirigé par le Dr. William Lee BURNQUIST. Il comporte notamment deux programmes de recherche :

- 1/ un programme d'amélioration variétale classique dont le schéma est présenté en figure 4,
- 2/ un programme d'amélioration variétale basée sur les biotechnologies.

A1/ Le programme d'amélioration variétale classique

Depuis sa création, COPERSUCAR a libéré une cinquantaine de variétés. Les variétés créées par COPERSUCAR portent le préfixe SP. Aujourd'hui, les variétés SP représentent 50% des variétés cultivées dans l'état de São Paulo. La variété la plus prometteuse actuellement est SP81-3250. Cette variété a été libérée en 1993 et occupe plus de 70 000 hectares.

Le schéma de sélection actuel dure 13 ans, occupe 300 ha du domaine expérimental du CTC et profite pleinement des ressources foncières, matérielles et humaines des usines de l'association (figure 4). Sur les 120 usines de l'état de São Paulo, environ 70% collaborent au programme d'amélioration variétale de COPERSUCAR, mais aussi avec le réseau RISEDA (Réseau de Recherche Interinstitutionnel du Secteur du Sucre et de l'Alcool) dont nous parlerons plus loin. Toutes les variétés qui ont été libérées par COPERSUCAR ces deux dernières années sont protégées par la loi des brevets au Brésil. COPERSUCAR facture l'utilisation de ses variétés à raison de 10 reais (environ 5 dollars US) par hectare cultivé. COPERSUCAR envisage aussi de protéger les futures variétés sous la forme d'un COV (Certificat d'Obtention Végétale) de l'UPOV (Union Internationale pour la Protection des Obtentions Végétales).

Trois séries de tests phytopathologiques (figure 4) sont réalisés sous la responsabilité d'Alvaro SANGUINO au cours du schéma de sélection. Ces essais occupent une superficie de 100 ha sur le domaine expérimental du CTC. Les variétés sont testées pour leur sensibilité aux principales maladies de la canne à sucre : Le charbon (*Ustilago scitaminea*), la rouille (*Puccinia melanocephala*), l'échaudure des feuilles (*Xanthomonas albilineans*), le rabougrissement des repousses (*Clavibacter xyli* subsp. *xyli*), la mosaïque (*Sugarcane mosaic virus* ou SCMV et *Sorghum mosaic virus* ou SrMV) et le syndrome de la feuille jaune (*Sugarcane yellow leaf virus* ou SCYLV). Lors des deux premières séries d'essais, toutes les variétés sont évaluées pour leur résistance aux pathologies citées ci-dessus, à l'exception du rabougrissement des repousses qui fait l'objet d'une troisième

série d'essais (figure 4). Chaque essai (canne plantée et deux repousses) est répété une fois.

Les résistances au charbon, au syndrome de la feuille jaune (YLS) et à la mosaïque sont évaluées à l'aide des mêmes essais. Afin d'évaluer la résistance au charbon, des boutures "un œil" sont plantées en serre après pulvérisation d'une suspension de 10^6 téliospores/ml. Après deux semaines à un mois en serre, les plantes sont transférées au champ. L'incidence de la maladie est évaluée en comptant le nombre de touffes malades. Pour la mosaïque, la contamination de la parcelle est obtenue par infection naturelle (via les pucerons) et l'incidence de la maladie est estimée par le nombre de tiges malades (planche photographique I). Le témoin sensible utilisé pour ces deux maladies est le même : la variété NA 5676. En ce qui concerne le syndrome de la feuille jaune, la contamination de la parcelle est également obtenue par infection naturelle via les pucerons. La variété témoin sensible utilisée pour cette maladie est SP71-6163. C'est sur cette variété que le syndrome de la feuille jaune a été identifié pour la première fois (planche photographique II).

Le comportement de la canne à sucre à l'égard de l'échaudure des feuilles et du rabougrissement des repousses est étudié en repousse. Du jus de canne à sucre malade est extrait et la souche de canne à sucre est inoculée lors de la coupe de la parcelle en utilisant des outils trempés dans ce jus. L'incidence de ces deux maladies est appréciée en fonction du nombre de tiges malades (symptômes pour l'échaudure des feuilles et nombre de vaisseaux infectés dans la tige pour le rabougrissement des repousses (tests sérologiques en dot blot). Seules les variétés les plus sensibles à l'échaudure des feuilles sont éliminées (planche photographique III).

La résistance à la rouille est évaluée dès les premiers stades de sélection par infection artificielle à l'aide de paillis de feuilles rouillées (plants en barquette), puis par infection naturelle lors des stades de sélection suivants.

COPERSUCAR dispose d'une vitrothèque. Chaque année, plus de 600 000 vitroplants sont produits sur 6 à 7 mois à partir de "gros" méristèmes pour alimenter les pépinières des usines. L'absence des agents pathogènes responsables de l'échaudure des feuilles, du rabougrissement des repousses et de la mosaïque est contrôlée par PCR avant mise en culture *in vitro*.

A2/ Le programme d'amélioration variétale basé sur les biotechnologies

Le programme de biotechnologies de COPERSUCAR est placé sous la responsabilité d'Eugenio ULIAN. Ce programme est constitué de deux axes principaux :

- 1/ Transformation de variétés de canne à sucre commerciales avec des transgènes d'intérêts
- 2/ Marquage moléculaire dans l'objectif d'obtenir des cartes génétiques saturées en marqueurs pour la recherche de QTLs

1/ Transformation de variétés de canne à sucre commerciales avec des transgènes d'intérêts

Le programme d'amélioration de la canne à sucre par transgénèse compte une dizaine de projets que l'on peut classer en quatre catégories :

i/ Fixation de l'azote :

Il s'agit d'une collaboration entre COPERSUCAR et l'Université Fédérale de Rio de Janeiro. Des cannes à sucre ont été transformées avec des gènes s'exprimant spécifiquement lorsque ces plantes interagissent avec des bactéries fixatrices de l'azote (*Azospirillum*, ...). L'objectif est de surexprimer l'expression de ces gènes afin de faciliter l'assimilation de l'azote par la plante.

ii/ Résistance aux insectes :

Il s'agit d'une collaboration entre COPERSUCAR et Novartis (Noventa). Trois génotypes de canne à sucre ont été transformés avec un plasmide contenant des gènes issus de *Bacillus thuringiensis*. Ces plantes produisent les protéines (CRI) aux propriétés insecticides (toxines). Ils ont obtenu 150 plantes transformées dont 15% ne présentaient plus le phénotype parental. Neuf clones transformés ont été sélectionnés pour chaque génotype. Leur sélection a été basée sur la production de toxine, une évaluation phénotypique des clones, et les paramètres de production de sucre. Les plantes transgéniques obtenues sont bien résistantes aux insectes. Actuellement, chacun des 9 clones est comparé par rapport au génotype (variété) d'origine dans des conditions de culture en champ. Ces plantes présentent toutefois un inconvénient car elles ont été sélectionnées sur un milieu contenant des antibiotiques. Or, la société Novartis serait aujourd'hui intéressée par des plantes exprimant les mêmes gènes mais ne comportant plus de gènes de résistance aux antibiotiques. Des plantes sélectionnées à l'aide de marqueurs positifs, sur milieu contenant du mannose par exemple, permettraient en effet d'éliminer toute possibilité de transfert de gènes codant pour des antibiotiques.

iii/ Résistance aux herbicides :

Plusieurs collaborations sont en cours :

- COPERSUCAR/BASF pour l'obtention de cannes à sucre transgéniques résistantes à l'imidazole.
- COPERSUCAR/Agrevo pour l'obtention de plantes transgéniques résistantes au glyphosate. Cette collaboration s'essouffle car le prix élevé du glyphosate ne permet pas à ces plantes d'être concurrentielles sur le marché.
- COPERSUCAR/Monsanto pour l'obtention de cannes à sucre transgéniques résistantes au glyphosate. Ces plantes ont déjà été produites, et les trois plantes correspondant aux critères de sélection sont au stade des essais en champ (figure 5). L'avenir de ces projets est aussi incertain car Monsanto ne veut plus travailler sur la canne à sucre.



Figure 5 : Parcelles de cannes à sucre transgéniques sur la station du Centre de Technologie de COPERSUCAR à Piracicaba. Les plantes expriment un gène de résistance à un herbicide. Au Brésil, la culture de plantes transgéniques est interdite, mais des dérogations sont données pour les essais scientifiques. La nature transgénique de la culture doit être mentionnée sur la parcelle, et la position physique de la parcelle (obtenue par le système de positionnement par satellite GPS) est donnée à l'organisme de contrôle.

iv/ Résistance aux agents pathogènes :

- Des plantes transgéniques exprimant la protéine de capsid du SCMV ont été produites avec pour objectif d'obtenir des cannes à sucre résistantes à la mosaïque. Les plantes obtenues ont un phénotype normal. Cependant, les symptômes de mosaïque s'expriment toujours après plantation des plantes au champ. Ce résultat pourrait être expliqué par l'origine du transgène. La construction génétique utilisée pour la transformation a bien été réalisée avec du matériel viral originaire de COPERSUCAR mais la diversité génétique du virus au Brésil est inconnue. L'existence de plusieurs souches de SCMV au Brésil pourrait donc être à l'origine du résultat obtenu, d'autant plus que les symptômes de mosaïque observés sur les plantes transgéniques apparaissent légèrement différents de ceux observés sur les plantes non transformées.
- La variété SP71-6163 très sensible au syndrome de la feuille jaune a été transformée avec l'ADNc codant pour la protéine de capsid du SCYLIV dans l'objectif d'obtenir des plantes résistantes à cette pathologie. Seuls 5 transformants ont été obtenus car la variété SP71-6163 est récalcitrante à la transformation. Trois de ces plantes possèdent un phénotype normal mais sont sensibles au syndrome de la feuille jaune. Les deux autres plantes ne présentent plus de symptôme mais sont rabougries et présentent des tiges fines par rapport à la variété d'origine. Elles sont aussi devenues sensibles à la rouille ! Des essais sont malgré tout poursuivis au champ.

2/ Réalisation de cartes génétiques saturées en marqueurs moléculaires pour la recherche de QTLs

Le programme de cartographie du génome de la canne à sucre repose sur l'étude du croisement entre deux variétés commerciales : SP81-80 et SP80-4966. Ces deux variétés diffèrent au niveau de nombreux caractères, notamment au niveau de la production de sucre et du rendement en tonnage de tiges : l'une de ces variétés est à fort rendement en canne et à faible teneur en sucre et l'autre est à faible rendement en canne et fort rendement en sucre. Cette étude repose sur une descendance qui compte 500 clones. Le marquage de cette carte est réalisée à l'aide de marqueurs RFLP, AFLP et microsatellites (des microsatellites ont été trouvés au sein de la banque de données ESTs de la canne à sucre et seront exploités dans cette étude).

Parallèlement, 200 individus issus de cette descendance sont actuellement analysés pour la détection de QTLs de résistance à l'échaudure des feuilles (SP81-80 est le parent résistant alors que SP80-4966 est le parent sensible).

En plus de ces programmes, COPERSUCAR participe activement au projet des ESTs de la canne à sucre financé par la FAPESP. William BURNQUIST est un des coordinateurs de ce projet aux côtés de Paolo ARRUDA. Le laboratoire d'Eugenio ULIAN constitue un des 50 groupes de "data mining" dont le sujet est : "recherche de gènes de la canne à sucre impliqués dans le métabolisme du saccharose". COPERSUCAR dispose d'un second groupe de "data mining" qui travaille sur la recherche de microsatellites dans les séquences exprimées de la canne à sucre.

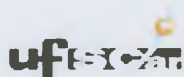
B/ Le réseau RISED

De 1971 à 1989, le programme public d'amélioration de la canne à sucre au Brésil était conduit au sein d'une structure appelée PLANALSUCAR (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar : Programme national d'amélioration de la canne à sucre) dont le siège était à Piracicaba (Etat de São Paulo). Pendant cette période, dix huit variétés RB furent libérées et notamment RB72-454 qui a été plantée sur tout le territoire brésilien. Le réseau RISED (Rede Interinstitucional de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro : Réseau de Recherche Interinstitutionnel du Secteur du Sucre et de l'Alcool) fut créé en 1991 et a pris le relais de PLANALSUCAR. Il est constitué de 7 universités fédérales (UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco ; UFAL - Universidade Federal de Alagoas ; UFS - Universidade Federal de Sergipe ; UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro ; UFV - Universidade Federal de Viçosa, MG ; UFSCar - Universidade Federal de São Carlos, SP ; UFPR - Universidade Federal do Paraná) dont 6 ont un programme d'amélioration variétale.

Le réseau dispose d'une unique station d'hybridation à Serra do Ouro (Universidade Federal de Alagoas) dans le nord du Brésil et chaque université vient y réaliser ses propres croisements. La situation de cette station et les conditions météorologiques qu'on y trouve sont propices pour la floraison de la majorité des variétés ainsi que pour une bonne pollinisation (latitude : 9°13'S ; altitude : 500 m ; pluviométrie : 2.000 mm/an ; température : de 19,5°C à 26,5°C).

A la fin du programme PLANALSUCAR en 1991, les variétés RB ne représentaient que 5 % des variétés cultivées dans l'état de São Paulo. Aujourd'hui, 50 % des variétés

cultivées sont des variétés RB, l'autre moitié étant les variétés SP de COPERSUCAR. Actuellement, la variété RB la plus cultivée est une variété libérée dans les années 80, il s'agit de RB72-454. Cette variété représente environ 23% à 25% des surfaces cultivées dans l'état de São Paulo (2 millions d'hectares de canne à sucre). La variété RB83-5486 semble être la plus prometteuse pour les années à venir (5% des surfaces cultivées en 2000). En effet, bien que cette variété soit légèrement sensible à la rouille, elle est précoce et a une teneur en sucre (richesse) excellente. De plus, les rendements obtenus sont toujours supérieurs à ceux de RB72-454. Les dernières variétés obtenues ont été protégées par la loi des brevets au niveau brésilien qui est basée sur un système de type UPOV (RB83-5054, RB84-5257, RB85-5035, RB85-5113, RB85-5538, RB85-5546). Environ 70 usines travaillent avec l'UFSCar. Les usines mettent en place des expérimentations au champ avec les variétés RB et payent une contribution à l'université de 6000 dollars US par an et par usine. Par ailleurs, les usines et les agriculteurs payent des royalties pour cultiver les variétés RB. Les droits d'utilisation sont de 10 reais (environ 5 dollars US) par hectare. Ces droits sont gratuits pour les exploitations de moins 100 ha et les usines qui participent au programme bénéficient d'une réduction de 5% par année de participation avec un maximum de 50% de réduction.



La station d'amélioration de la canne à sucre de L'UFSCar qui est membre du réseau RISEDA est basée sur le Centre des Sciences Agraires (CCA : Centros de Ciencias Agrarias à Araras, figure 6). Le programme de création variétale est sous la direction de Sizuo MATSUOKA (sélectionneur). Le schéma de sélection (figure 7) est constitué de 4 grandes étapes et s'étale sur 12 à 13 ans. La principale stratégie de ce schéma est d'éliminer le maximum de variétés dès le premier stade de sélection. Seul 1% des variétés est conservé à la fin du premier stade ; ce taux passe à 10% pour le passage de la seconde à la troisième phase de sélection (figure 7).

Les travaux en phytopathologie effectués lors de la sélection sont sous la responsabilité d'Eder GIGLIOTTI. Etant donné que la majorité des usines ont abandonné les pépinières avec thermothérapie (système appliqué dans les années 70 et 80 mais abandonné pour des raisons financières), l'objectif de la sélection est d'identifier des variétés résistantes ou tolérantes aux maladies. Les seedlings sont inoculés deux mois après la transplantation en pot individuel avec les agents responsables de l'échaudure des feuilles et du rabougrissement des repousses (figure 8). Les feuilles sont sectionnées avec des outils trempés dans du jus de cannes infectées. Aucune opération de sélection proprement dite n'est réalisée à ce stade. En fait, si les plantes meurent ou sont affectées par la maladie, elles seront contre sélectionnées et non retenues au cours des stades suivants ("sélection naturelle").



Figure 6 : Centre des sciences agraires (CCA) de l'UFSCar à Araras



Figure 8 : Seedlings de canne à sucre du programme d'amélioration variétale de l'UFSCar à Araras

La sélection pour la résistance à la rouille, au charbon et à la mosaïque est réalisée sur la station de Parana (UFPR) lors de la troisième phase de sélection. La contamination des variétés est assurée au champ par des lignes infestantes de variétés sensibles. Pour le charbon et la mosaïque, des tests complémentaires sont réalisés en serre. L'inoculation avec le charbon est assurée par l'injection d'une suspension de spores dans le bourgeon ("needle prick method"). La résistance à la mosaïque est évaluée sur le même essai et les jeunes plantes (stade trois feuilles) sont pulvérisées avec des broyats de feuilles malades additionnés de carborandum. Seules les variétés notées 7 à 9 sur une échelle de 1 à 9 sont éliminées.

Parallèlement à son action au sein du programme de sélection variétale, Eder GIGLIOTI dirige le laboratoire de phytopathologie moléculaire et d'ingénierie génétique (LAFIMEG). Une dizaine d'étudiants de niveau licence ou maîtrise constitue l'essentiel du personnel. Le programme du laboratoire comporte plusieurs projets :

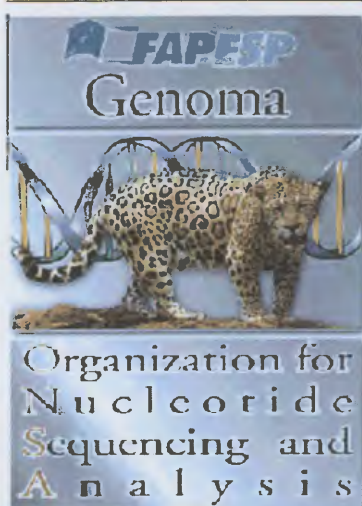
- Participation au projet de séquençage des ESTs de la canne à sucre financé par la FAPESP ; le laboratoire LAFIMEG constitue un des 24 laboratoires de séquençage et à ce titre dispose d'un séquenceur Perkin Elmer 377 capable de traiter par jour un gel de séquence contenant 96 échantillons. LAFIMEG constitue également un groupe de "data-mining" dont le thème est l'étude des gènes impliqués dans les réponses de défense de la canne à sucre contre les bactéries phytopathogènes localisées dans les vaisseaux du xylème.
- Caractérisation d'une nouvelle maladie de la canne à sucre : la fausse rayure rouge dont l'agent causal est un *Xanthomonas*. Une collaboration est actuellement en cours avec le laboratoire de pathologie canne à sucre du CIRAD à Montpellier. Au cours de cette mission, nous avons discuté des expériences complémentaires qu'il serait souhaitable de réaliser afin de finaliser une ou deux publications. Le thème de ces publications seraient : 1/ Caractérisation de la maladie (symptômes et distribution

de la maladie au champ) 2/ Position taxonomique de l'agent pathogène responsable de la maladie.

- Un des problèmes majeurs de la culture cannière au Brésil est lié aux attaques de foreurs de tiges (*Diatraea*). L'attaque de ce parasite est associée à des pourritures provoquées par des champignons des genres *Fusarium moniliforme* et/ou *Colletotricum falcatum*. Cette symptomatologie est nommée en anglais "borer-rot complex" [Giglioti E. A. et Conteri M. G., 1999. Phytopathometry applied to the management of borer-rot complex in sugarcane : (I) A standard diagram to assess disease severity. In Sugarcane Pathology Volume I : Fungal diseases. G. P. Rao, A. Bergamin Filho, R. C. Margarey, L. J. C. Autrey (Eds) Enfield, New Hampshire, Science Publishers, Inc, 183-194.]. Les variétés RB n'échappent pas à ce problème. Le laboratoire d'Eder GIGLIOTI a mis au point des méthodes d'évaluation de la maladie au champ. Ces études ont notamment permis d'évaluer la résistance variétale ainsi que les paramètres épidémiologiques de la maladie.
- Caractérisation de souches de *Xanthomonas albilineans* à Cuba. Ce travail fait l'objet d'une collaboration avec des laboratoires de recherche cubains. Les premiers résultats ont été publiés récemment dans la revue Plant Disease (Diaz M., Peralta E. L., Iglesia A., Pazos V., Carvajal O., Perez M. P., Giglioti E. A., Gagliardi P. R., Wendland A., Camargo L. E. A. 2001. *Xanthomonas albilineans* Haplotype B Responsible for a Recent Sugarcane Leaf Scald Disease Outbreak in Cuba 85:334).
- Etude de l'incidence de la rouille (*Puccinia melanocephala*) et de la maladie de l'écorce ("rind disease" provoquée par *Phaeocystostroma sacchari*).

III/ Les programmes de séquençage de génomes au Brésil

La FAPESP (Fundaç o de Amparo   Pesquisa do Estado de S o Paulo) est la fondation pour la recherche de l'état de S o Paulo. 1% des taxes correspondant à la TVA de cet état est vers  à la fondation pour assurer son financement. Au sein de cette fondation a été créé un institut de recherche virtuel qui regroupe plus de 50 laboratoires au travers de l' tat. Il s'agit de l'ONSA (Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis, les initiales ONSA signifient par ailleurs jaguar en portugais, d'où le sigle représentant cet animal).



L'ONSA gère actuellement 3 grands projets :

- Le séquençage complet du génome de bactéries pathogènes :

✓ Deux bactéries phytopathogènes des agrumes responsables de fortes pertes de rendement dans l'état de S o Paulo (*Xylella fastidiosa*, agent responsable de la maladie de Pierce, et *Xanthomonas campestris* pv. *citri*, agent du chancre citrique).

✓ *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (= *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*), agent responsable du rabougrissement des repousses de la canne à sucre.

✓ La bactérie *leptospira* responsable de la leptospirose chez l'homme.

- Le projet Génome du Cancer Humain (en collaboration avec l'institut Ludwig pour la recherche sur le cancer, Suisse)

dont l'objectif est le séquençage de gènes exprimés dans les cellules tumorales.

- Le projet ESTs de la canne à sucre dont le but est le séquençage des gènes exprimés par la canne à sucre.

Au niveau végétal, ces projets portent sur des thèmes qui préoccupent particulièrement le Brésil. De plus, les thèmes abordés constituent une niche par rapport à la concurrence internationale qui se focalise sur l'étude de plantes modèles.

A la tête de chaque projet, un coordinateur est responsable de la préparation des banques. Les clones sont alors distribués dans les différents laboratoires de l'ONSA pour leur séquençage. Les données de séquences sont alors centralisées vers un centre de bioinformatique qui traite les données.

Au cours de cette mission, nous avons rencontré cinq participants intervenant à différents niveaux au sein des projets de l'ONSA :

Centre de biologie moléculaire et d'ingénierie génétique UNICAMP (Campinas)

Paolo ARRUDA : Coordinateur du projet ESTs de la canne à sucre.

Université de l'Etat de São Paulo (Jaboticabal)

Jesus AP. FERRO : Coordinateur du projet séquençage des *Xanthomonas* et responsable d'une unité de séquençage dans le programme ESTs de la canne à sucre.

Université de São Paulo (Piracicaba)

Luis Eduardo ARANHA CAMARGO : Coordinateur du projet séquençage de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* et responsable d'un laboratoire de séquençage dans le programme ESTs de la canne à sucre.

COPERSUCAR (Piracicaba)

William Lee BURNQUIST : Coordinateur du projet ESTs de la canne à sucre.

Université fédérale de l'état de Sao Carlos (Araras)

Eder GIGLIOTTI : Responsable d'un laboratoire de séquençage.

A/ Projet ESTs de la canne à sucre

Ce projet a débuté en 1999. Une quarantaine de banques d'ADNc a été réalisée à partir de différentes variétés de canne à sucre brésiliennes, de différents organes et dans différentes conditions de culture, de stress ou de développement. Cependant, seules deux banques ont été réalisées à partir de canne à sucre en interaction avec des microorganismes pathogènes ou symbiotiques (variété SP70-1143 et bactéries fixatrices d'azotes, *Herbaspirillum seropedicae* et *Herbaspirillum rubrisubalbicans*).



Pour l'étape de séquençage, le projet était organisé en 4 unités de séquençage qui disposaient de séquenceurs de dernière génération Perkin Elmer 3700 permettant de réaliser l'équivalent de 7 gels de 96 échantillons par jour. Paolo ARRUDA et Jesus AP. FERRO dirigent chacun une unité de séquençage. De plus, chaque unité de séquençage est affiliée à 3 laboratoires de séquençage qui disposent chacun d'un séquenceur Perkin

Elmer 377. Les premières séquences ont été obtenues en juillet 1999 et l'étape de séquençage a été achevée fin 2000 par l'obtention de 250000 ESTs.

Ces ESTs ont été groupées en "Clusters". Ces clusters représentent en fait le nombre de gènes exprimés présents dans le génome de la canne à sucre. Ce nombre de gènes serait compris au minimum entre 25000 et 30000 et au maximum entre 35000 et 40000.

Les séquences devraient être consultables à partir d'internet (NCBI) dans environ 6 mois. A l'heure actuelle, 50 groupes brésiliens de "data-mining" exploitent les données et repèrent dans le génome de la canne à sucre les ESTs ayant des homologues de séquence avec des gènes connus dans d'autres plantes ou organismes (annexe 2).

La priorité étant à présent donnée aux projets de génomique fonctionnelle, le projet des ESTs de la canne à sucre s'est équipé d'un Robot Q Bot Genetix qui permet l'entretien et la réplique des banques, mais aussi de réaliser des filtres haute densité (membrane de 20 x 20 cm) portant jusqu'à 27000 clones répliqués. Ces filtres, sur lesquels pourront être appliqués les ADNs correspondant aux ESTs devraient, par exemple, permettre d'identifier les gènes induits chez la canne à sucre lors d'une interaction avec un agent pathogène. Dix filtres haute densité seront suffisant pour fixer la totalité des ADNs correspondant aux ESTs. A moyen terme, la technologie des micropuces à ADN devrait également être disponible.

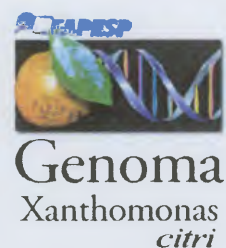
Le séquençage complet du génome chloroplastique de la canne à sucre est également un projet en cours et qui touche à sa fin. Le génome chloroplastique de la canne serait très proche de celui du maïs de par sa taille (135 Kb) et la position des gènes au sein des deux génomes serait également très similaire. Le génome chloroplastique de la canne à sucre et du maïs est cependant différent de celui du riz et du tabac.

B/ Les projets de séquençage de génomes de bactéries phytopathogènes

La FAPESP est à l'origine du premier séquençage complet du génome d'une bactérie phytopathogène : *Xylella fastidiosa*. Cet agent pathogène vasculaire est responsable de la maladie de Pierce sur les agrumes mais cause également de lourdes pertes chez d'autres cultures telle que la vigne. Le génome de la bactérie a été séquençé à 90% en un an et 12 mois supplémentaires ont été nécessaires pour l'obtention du génome complet. Ce travail a déjà permis d'identifier toute une batterie de gènes potentiellement impliqués dans le métabolisme énergétique ou encore dans le pouvoir pathogène de la bactérie. Ces résultats sont décrits dans un article publié dans la revue Nature (Simpson, A. J. G. et al. 2000. The genome sequence of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. Nature 406:151-159).



Forts de cette première expérience, ces chercheurs ont mis en place deux nouveaux projets de séquençage de génomes de bactéries phytopathogènes : celui de *Xanthomonas campestris* pv. *citri* (agent du chancre citrique), et celui de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* (agent responsable du rabougrissement des repousses de la canne à sucre). Ces deux projets sont respectivement coordonnés par Jesus AP. FERRO et Luis Eduardo ARANHA CAMARGO. La phase de séquençage



est actuellement terminée et les annotations des séquences sont en cours.

IV/ Projet de collaboration entre le programme canne à sucre du CIRAD et les structures brésiliennes FAPESP et UFSCar

L'accroissement considérable du nombre de chercheurs et d'universités étudiant la canne à sucre au Brésil fait que ceux-ci deviennent des partenaires incontournables en matière de collaboration internationale sur cette plante. Les chercheurs brésiliens rencontrés sont d'ailleurs très demandeurs de l'expertise CIRAD (en pathologie de la canne à sucre par exemple mais aussi en pathologie des agrumes). A ce titre, ils sont très intéressés pour développer des réseaux de recherche en génomique et en post génomique.

Au cours des rencontres que nous avons eues avec les différents responsables des projets de séquençage, la possibilité du séquençage du génome de *Xanthomonas albilineans* (agent causal de l'échaudure des feuilles de la canne à sucre) a été discutée. Ce projet pourrait être réalisé par un petit groupe incluant notamment l'équipe de Jesus AP. FERRO (qui dispose déjà de la logistique en bioinformatique suite au séquençage de *Xanthomonas campestris* pv. *citri*) et l'équipe d'Eder GIGLIOTI (pathologiste canne à sucre). Deux options sont envisageables : 1/ Un séquençage complet du génome pendant un an et demi, et dont le coût est estimé à 500 000 dollars US 2/ Un séquençage du génome à 90% qui serait suffisant pour faire de la génomique fonctionnelle. Cette deuxième option serait réalisable en 6 mois environ et nécessiterait 250 000 dollars US.

La présentation du projet à la FAPESP nécessiterait un document de 5 pages maximum décrivant l'importance de la maladie, l'intérêt scientifique du projet, un budget prévisionnel du coût de l'opération, les personnes impliquées et leur rôle dans le projet. L'implication du CIRAD dans un tel projet impliquerait un apport financier conséquent (30 à 50 000 dollars US). Cette solution n'étant, a priori, pas envisageable à ce jour, nous avons proposé à Eder GIGLIOTI de développer dans un premier temps, un programme de collaboration qui s'organiserait entre son laboratoire de phytopathologie moléculaire et d'ingénierie génétique (LAFIMEG), la FAPESP et le projet protection de la canne à sucre du CIRAD. L'objectif de cette collaboration serait de mieux comprendre les interactions entre la canne à sucre et *Xanthomonas albilineans*. La confrontation des connaissances de la diversité et de l'épidémiologie de l'agent pathogène avec celles de la génomique de l'hôte est un atout essentiel. Ce programme de collaboration se propose d'approfondir la connaissance de la diversité génétique et d'éléments du pouvoir pathogène des souches brésiliennes et réunionnaises de *Xanthomonas albilineans*. Le séquençage du génome d'une souche brésilienne de la bactérie constituerait alors un outil supplémentaire. L'étude génétique par des stratégies de screening différentiels (AFLP/cDNA) de souches présentant des caractères phénotypiques opposés permettra d'identifier des gènes bactériens impliqués dans des processus tels que la colonisation vasculaire de l'hôte, la production de toxine ou encore la capacité de transmission aérienne. Un second axe de cette collaboration s'attacherait à identifier les gènes de la plante qui sont induits lors de l'interaction avec l'agent pathogène.

Les axes thématiques de ce projet qui devrait être soumis à la FAPESP sont décrits dans le tableau 1 et sont en cours de discussion auprès de nos partenaires brésiliens potentiels.

Laurent COSTET et Philippe ROTT

Planche photographique I

Symptômes de mosaïque dans un essai variétal de COPERSUCAR (Piracicaba)



Planche photographique II

Symptômes du syndrome de la feuille jaune sur la variété SP71-6163 sur le domaine expérimental du Centre de Technologie (CTC) de COPERSUCAR à Piracicaba



Planche photographique III

Symptômes d'échaudure des feuilles sur des variétés de canne à sucre en cours de criblage variétal à COPERSUCAR (Piracicaba)



ANNEXE 1 : SIGLES ET ADRESSES INTERNET UTILES

CCA :	Centros de Ciencias Agrarias de l'UFSCar (<i>Centre des Sciences Agraires de l'UFSCar</i>)
COPERSUCAR :	Cooperativa de produtores de caña, açúcar e álcool do estado de São Paulo (<i>Coopérative de producteurs de canne à sucre, de sucre et d'alcool de l'état de São Paulo</i>)
CTC :	Centro de Tecnologia COPERSUCAR (<i>Centre de Technologie de COPERSUCAR</i>)
EST :	Expressed Sequence Tag (<i>Le terme anglais EST signifie étiquetage d'une séquence transcrite. Une EST est une séquence de 300-400pb, déterminée une seule fois, portant sur l'extrémité 5' ou 3' d'un clone ADNc. En séquençant en aveugle un grand nombre d'EST, on obtient une représentation de la population d'ARN messager (ARNm) dans un tissu ou à un stade de développement donné</i>)
FAPESP :	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (<i>Fondation pour la Recherche de l'Etat de São Paulo</i>)
LAFIMEG	Laboratório de Fitopatologia Molecular e Engenharia Genética (<i>Laboratoire de Phytopathologie Moléculaire et d'Ingénierie Génétique de L'UFSCar</i>)
NCBI	National Center for Biotechnology Information (USA) (<i>Centre regroupant les bases de données en biotechnologie de l'Institut National de la Santé des USA</i>)
ONSA :	Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis (<i>Organisation de Séquençage des Nucléotides et d'Analyse</i>)
PLANALSUCAR :	Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (<i>Programme National d'Amélioration de la Canne à Sucre</i>)
RISEDA :	Rede Interinstitucional de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (<i>Réseau de Recherche Interinstitutionnel du Secteur du Sucre et de l'Alcool</i>)
SUCEST :	The Sugar Cane EST project (<i>Projet de Séquençage des ESTs de la Canne à Sucre</i>)
UFAL :	Universidade Federal de Alagoas (<i>Université Fédérale de Alagoas</i>)

UFPR :	Universidade Federal do Paraná (<i>Université Fédérale de Paraná</i>)
UFRPE :	Universidade Federal Rural de Pernambuco (<i>Université Fédérale Rurale de Pernambuco</i>)
UFRRJ :	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (<i>Université Fédérale Rurale de Rio de Janeiro</i>)
UFS :	Universidade Federal de Sergipe (<i>Université Fédérale de Sergipe</i>)
UFSCar :	Universidade Federal de São Carlos (<i>Université Fédérale de São Carlos</i>)
UFV :	Universidade Federal de Viçosa (<i>Université Fédérale de Viçosa</i>)
UNESP	Universidade Estadual Paulista (<i>Université de l'Etat de São Paulo</i>)
UNICAMP :	Universidade de Campinas (<i>Université de Campinas</i>)
USP :	Universidade de São Paulo (<i>Université de São Paulo</i>)

Quelques liens utiles

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos, SP Campus Araras , Rodovia Anhanguera (SP-330), Km 174 ; Araras - São Paulo - Brasil, CEP: 13600-970

Tel. (55) 19 542-3833 ou 542-4007 ; Fax. (55) 19 542-3773

Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar conduzido pelo Centro de Ciências Agrárias - UFSCar

<http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/>

Centro de Tecnologia Copersucar, Fazenda Santo Antônio s/n, 13400-970 - Piracicaba - SP

Tel. (55) 19 429-8111 ; Fax (55) 19 429-8388

<http://www.copersucar.com.br>

FAPESP

<http://watson.fapesp.br/begin01.htm>

ONSA

<http://watson.fapesp.br/onsa/onsagera.htm>

ANNEXE 2 : LISTE DES "DATA MINING PROJECTS" DE LA SUCEST

Finding genes related to nematode resistance in sugarcane

Coordinator: Carlos Augusto Colombo

Identification of genes related to water stress resistance

Coordinator: Jose Roberio dos Santos

Identification of heat shock proteins

Coordinator: Regina Maria Barretto Cicarelli

Identification of genes involved in the secretory pathway of sugar-cane cells

Coordinator: Julio Cesar de Mattos Cascardo

Sugarcane ESTs Involved in the response mechanisms induced by pathogens

Coordinator: Eiko Eurya Kuramae Izioka

Metabolic pathway of main sugars involved in the mobility of the Boron in plant

Coordinator: Celso Luiz Marino

Prospection of sugarcane transcription factors

Coordinator: Adilson Leite

Sugarcane genes involved in nutrient uptake and metal resistance

Coordinator: Antonio Vargas de Oliveira Figueira

Data mining of sugarcane glycosylation enzymes

Coordinator: Adilson Leite

Sugarcane genes involved in sucrose metabolism

Coordinator: Eugênio César Ulian

Microsatellite data mining

Coordinator: Jorge Alberto Gonçalves da Silva

Sugarcane genes involved in aluminum tolerance

Coordinator: Marcelo Menossi Teixeira

Characterization of genes involved in sugarcane flower development

Coordinator: Marcelo Carnier Dornelas

1) Characterisation of inducible and constitutive promoters in sugarcane; 2) Looking for insect resistant genes; 3) Characterisation of subcellular localisation and expression of FtsH-like proteins.

Coordinator: Marcio de Castro Silva Filho

Aluminum tolerance studies in grasses using sugarcane EST sequence informations

Coordinator: Claudia Teixeira Guimaraes

Finding the homologs of sugarcane stress-related genes

Coordinator: Luis Eduardo Aranha Camargo

The sugarcane transcription factors

Coordinator: Helaine Carrer

Identification and annotation of proteins involved in the regulation of plant-microbe interactions

Coordinator: Marcio Rodrigues Lambais

Identification of genes involved in photosynthesis, cell wall biosynthesis insect resistance and secondary metabolites

Coordinator: Luiz Lehmann Coutinho

Finding genes related with cell wall proteins in sugar cane

Coordinator: Marcos Silveira Buckeridge

DNA repair genes in sugarcane

Coordinator: Carlos Frederico Martins Menck

Sugarcane genes related to water stress

Coordinator: Luiz Roberto Furlan

Sugarcane genes involved in carbohydrates metabolism

Coordinator: Manoel Victor Franco Lemos

Sugarcane genes involved in vacuolar sucrose storage

Coordinator: Marcia Justino Rossini Mutton

Midia/Ciencia project about sugar cane genome

Coordinator: Marianne Karin Biben Frederick

Environmental stress: chaperones, Hsps and other stress related proteins

Coordinator: Carlos Henrique Inacio Ramos

Characterization of genes involved in Programmed Cell Death (PCD) in Sugarcane

Coordinator: Luiz Roberto Nunes

Search for the sugarcane base excision repair genes

Coordinator: Lucymara Fassarella Agnez Lima

Stress-related genes in sugarcane

Coordinator: Goncalo Apolinario da Souza Filho

HSP70 and cognate proteins: differential expression in sugar cane

Coordinator: Paulo Paes de Andrade

Identification of RGAs (Resistance Gene Analogs) in the sugarcane genome

Coordinator: Ana Maria Benko Iseppon

- Sugarcane genes related with plant defense mechanisms**
Coordinator: Angélica Virgínia Valois Montarroyos
- Sugarcane genes involved in male fertility**
Coordinator: Nara Suzy Aguiar de Freitas
- Chemical ecology of plant secondary metabolites: co-evolution of plants and grazing ruminant animals**
Coordinator: Humberto Maciel Franca Madeira
- Identification of signal transduction components of the sugarcane genome**
Coordinator: Aline Maria da Silva
Glaucia Mendes Souza
- Membrane receptors - Elements of signalization**
Coordinator: Roberto Vicente Santelli
- Genes involved in sugarcane flower development**
Coordinator: Maria Helena de Souza Goldman
- Sugarcane genes encoding glycine-rich proteins and enzymes of lignin metabolism**
Coordinator: Gilberto Sachetto Martins
- Genes involved in cell cycle and nitrogen metabolism in sugarcane**
Coordinator: Paulo Cavalcanti Gomes Ferreira
- Markers for sugarcane evolution**
Coordinator: Mauricio Bacci Jr.
- Sugarcane cysteine proteinase and phytocystatins**
Coordinator: Rogerio Margis
- Genes involved in the biosynthesis of secondary metabolites and biopolymers derived from sucrose**
Coordinator: Suzelei de Castro França
- Data mining of bacterial-like two-component regulator genes**
Coordinator: Suzelei de Castro França
- Identification of metalloprotease gene families in sugar cane**
Coordinator: Heloisa Sobreiro Selistre de Araujo
- Clavibacter-Sugarcane: genes associated with plant defense against pathogenic bacterium inhabitant of xylem vessels**
Coordinator: Éder Antônio Giglioti
- Purine synthesis pathway and identification of novel genes**
Coordinator: Otavio Henrique Thiemann

Oxidative stress response in sugar cane

Coordinator: Luis Eduardo Soares Netto

Identification of expressed transposable elements and resistance gene analogs (RGAs)

Coordinator: Marie-Anne Van Sluys

Development of intelligent software agents for navigation aid in genome databases

Coordinator: Rafael Duarte Coelho dos Santos

Sugarcane genes related to mitochondrial function

Coordinator: Francisco Gorgonio da Nóbrega

LA GOUTTE D'ENCRE

53 Place Thermidor 34000 Montpellier
Tel 04 67 65 30 96 Fax 04 67 65 89 23



Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

**Département
des cultures
annuelles
Cirad-ca**

Programme
canne à sucre

Avenue Agropolis
BP 5035
34032 Montpellier
Cedex 1, France

téléphone :
33 (0)4 67 61 59 71
télécopie :
33 (0)4 67 61 56 66
www.cirad.fr

EPIC-SIRET
331 596 270 00040
Code APE
711 Z